МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.75.04 / УДК 621.91.04 / 004.9 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-3-262-267

Разграничение понятий математического и логического моделирования*

Е. Н. Колыбенко[1**]
[1]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Distinction between the concepts of mathematical and logical modeling***

E. N. Kolybenko[1 **]
[1]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Технологии математического и логического моделирования решения задач по существующей практике их распространения распределяются на два направления: широко распространенное математическое моделирование и информационное логическое моделирование, которое в настоящий момент развито недостаточно, в особенности для сложноорганизованных систем. Принципиальные различия этих технологий, в частности для подготовки производства обработкой резанием, в том, что логическое моделирование информационно и логически связано с системами организации, а математическое — с процессами управления в системах организации. Логическое моделирование используется для оперирования геометрическими объектами в технологических схемах их взаимодействия методами базирования, геометрического формообразования в условиях статической, т. е. идеальной настройки соответствующих схем. Математическое моделирование используется для оперирования материальными объектами в процессах управления их преобразованиями методами обработки резанием, т. е. неидеально с учетом функционально различных погрешностей. Между рассматриваемыми системами организации и процессами управления в них существуют информационные и логические связи их органического единства, отрицающие их раздельное рассмотрение. Для информационной детерминированной технологии решения задач высокого уровня автоматизации разграничение понятий «математическое» и «логическое» моделирование актуально, обладает научной новизной и практической значимостью.
Материалы и методы. Для характеристики свойств понятий «математическое моделирование», «логическое моделирование» и функций знаний, следующих из формулирования этих понятий, используются принципиально различные методы и соответствующие инструментальные средства. В основу разграничения рассматриваемых понятий положено разграничение технологий (методы, соответствующие средства, алгоритмы, операции) решения прикладных задач какой-либо предметной области знаний.
Результаты исследования. Понятия «логическое моделирование» и «математическое моделирование» являются концептуальными общетеоретическими понятиями, обладающими инвариантными свойствами, которые необходимы для решения задач практики какой-либо предметной области. В соответствии с разграничениями рассматриваемых понятий, технологии решения задач подразделяются на два типа: технология системной инженерии — в системах организации информационных объектов и технология

Introduction. Technologies of mathematical and logical modeling of problem solving according to the existing practice of their distribution are divided into two areas: widespread mathematical modeling and infological modeling which is currently underdeveloped, especially for sophisticated systems. Fundamental differences between these technologies, in particular for the machining preproduction, are that logical modeling is informationally and logically related to organization systems, and mathematical modeling is associated with control processes in the organization systems. Logical modeling is used to operate with geometric objects in the technological schemes of their interaction through basing methods, geometric shaping in a static (ideal) setting of the corresponding schemes. Mathematical simulation is used to operate material objects in the control processes of their transformations through cutting methods, i.e. imperfectly, considering heterogeneous errors. Between the organization systems under study and management processes in them, there are information and logical links of their organic unity, which deny their separate consideration. In the information deterministic technology for solving problems of a high-level automation, the distinction between the concepts of “mathematical” and “logical” modeling is relevant; it has scientific novelty and practical significance.
Materials and Methods. To characterize the properties of the concepts of “mathematical modeling”, “logical modeling” and the knowledge functions resulting from the formulation of these concepts, fundamentally different methods and appropriate tools are used. The differentiation of the concepts under consideration is based on the differentiation of technologies (methods, appropriate tools, algorithms, operations) for solving applied problems of any knowledge domain.
Research Results. The ideas of “logical modeling” and “mathematical modeling” are conceptual general-theoretical notions with invariant properties required for solving practical problems of any application domain. In accordance with the distinction between these concepts, the problem solving technologies are divided into two types: system engineering technology – in the organization of information object systems, and system science – in the management processes of transfor-



* Работа выполнена в инициативном порядке.
**E-mail: e.n.kolybenko@mail.ru
***The research is done within the frame of the independent R&D.

системотехники — в процессах управления преобразованиями соответствующих материальных объектов. Эти направления должны существовать в информационной и логической связи их органического единства.
Обсуждение и заключения. Автором разграничены понятия «логическое моделирование» и «математическое моделирование», что является важнейшим условием успешного перехода к детерминированной информационной технологии высокого уровня автоматизации в решении задач практики какой-либо предметной области знаний, например, технической подготовки производства резанием.

mation of the corresponding material objects. These areas should exist in the information and logical link of their organic unity.
Discussion and Conclusions. The author distinguishes between the concepts of "logical modeling" and "mathematical modeling", which is a key condition for a successful transition to the deterministic information technology of a high-level automation in solving practical problems of any knowledge domain, for example, of the production design machining.

Ключевые слова: техническая подготовка производства, обработка резанием, системный анализ, информационная технология, моделирование решений, системная технология.

Keywords: production design engineering, cutting, system analysis, information technology, decision modeling, system science.

Образец для цитирования: Колыбенко, Е. Н. Разграничение понятий математического и логического моделирования / Е.Н. Колыбенко // Вест- ник Дон. гос. техн. ун-та. — 2019. — Т. 19, № 3. — С. 262−267. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-3- 262-267

For citation: E. N. Kolybenko. Distinction between the concepts of mathematical and logical modeling. Vestnik of DSTU, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 262−267. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-3-262-267

Введение. Основные положения системной инженерии, как творческой технологии комплексного решения инженерных и организационно-управленческих задач, изложены в работе [1]. Отмечено, что чрезвычайно высокая сложность и разнообразие крупномасштабных высокоавтоматизированных систем существенно затрудняет использование исключительно средств математики для их определения. Концепция системной инженерии формировалась в рамках практики успешных разработок. Однако, данная работа вышла с изменением буквального перевода понятия «системная инженерия» на понятие «системотехника». Далее технология системотехники сформировалась как самостоятельное направление знаний. Функции технологии системотехники — управление процессами преобразования материальных объектов в соответствующих системах организации. После введения понятия «системотехника» системная инженерия в нашей стране, как концептуальная прорывная конкурентоспособная информационная технология создания крупных сложных информационных систем высокого уровня автоматизации, была в значительной степени утеряна. Развитие пошло по направлению проектирования технологических процессов управления в системах организации функционально различными методами и средствами математического аппарата.

Функционально различные аспекты подхода к технологии системной инженерии в познании базы знаний предметной области по семи уровням иерархии ее базовых объектов различных типов изложены в работе [2] на примере технологической подготовки производства (ТПП) резанием по всему ее циклу.

Функции технологии системной инженерии — это организация на инвариантной основе детерминированных систем высокого уровня автоматизации для информационного логического моделирования решения возможного множества задач в моделях базовых объектов знаний и базах данных их решений с выпуском проектной документации. Ознакомление с работами [3–13] позволяет отметить, что направление технологии системной инженерии широко развито в части информационного и программного обеспечения систем обработки информации на компьютере, а также в функционально различном менеджменте. В технологической подготовке механообрабатывающего производства развитие пошло в направлении перевода традиционных знаний в электронную форму для восприятия компьютером. На основе таких преобразований формы знаний организованы малоэффективные не имеющие выхода в САПР диалоговые системы решения задач практики низкого уровня автоматизации. Технология системотехники развита широко.

Глубинные свойства понятий приведены в работе [14]: «…одним из свойств сознания человека является способность применять ранее накопленные знания для решения возникающих логических проблем»; «…понятие можно определить и как некоторую языковую конструкцию, имеющую определенный смысл, т. е. образное содержание». Там же: «Объект, с целью изучения которого проводятся исследования, называется оригиналом, а объект, исследуемый вместо оригинала для изучения определенных свойств, называется моделью». Там же: «Моделирование есть метод (или процесс) изучения свойств объектов-оригиналов посредством исследования соответствующих свойств их моделей».

Если свойства реального объекта описать словами, математической формулой, чертежом или рисунком, т. е. формализовать их в модели, то такую модель можно назвать информационной. Только знания информационной природы пригодны для обработки на компьютере. Системный анализ знаний по технологии систем-

ной инженерии труден для восприятия, но его результаты информативны и одновременно лаконичны. Исходя из необходимости встраивания формализованных понятий в структуру базовых объектов знаний различных типов предметной области, содержание понятий должно достигать максимальной строгости. Принципиально важной является авторская актуализированная трактовка существующих и принципиально новых понятий.

Материалы и методы. Введем актуализированное понятие системных принципов. Системные принципы — это информационные логические утверждения подхода к решению задач исследования технологических систем, процессов функционально различного назначения в условиях соответственно статической, динамической настройки, проверенные множественной практикой их использования.

Далее сформулируем системные принципы.

1. Необходимым условием упорядоченного технологического процесса функционально различной природы (технической, физической, химической, биологической) преобразования какого-либо объекта является наличие системы управления. Функция управления преобразованием всегда конкретна, реализуется в отношении соответствующей технологической системы. Из этого следует, что необходимым условием существования системы управления преобразованиями какого-либо объекта является наличие соответствующей технологической системы его организации. Сошлемся на известное и справедливое высказывание: «Нельзя хорошо управлять плохо организованным объектом». При этом понятие «организация» далее рассматриваем на основе соответствия понятию «структура» в различных аспектах его толкования на примере технологической подготовки механообрабатывающего производства. Решение задач ТПП автором организовано на возможном множестве деталей, объектов производства, станков, режущих инструментов, приспособлений для установки режущих инструментов и объектов производства; при этом используем обозначение {…} — множество.

Введем актуализированные понятия.

- **Структура —** это строение (организация) какого-либо объекта, определенное методами декомпозиции в составе элементов структуры и методами синтеза наложением связей между элементами структуры различных уровней и одного уровня структуры, в основу которого положены параметры проектного качества основных элементов интеграции, дезинтеграции структуры.
- **Основные элементы интеграции, дезинтеграции структуры —** это элементы знаний, характеризующие функционально различные элементы структуры объектов ({детали}) стадии конструкторской подготовки производства (КПП) и объектов ({исходные заготовки}) стадии технологической подготовки производства (ТПП), а также связи между элементами структуры.
- **Проектное качество основных элементов интеграции, дезинтеграции в структуре объектов ({детали}) стадии КПП и в структуре объектов ({исходные заготовки}) стадии ТПП —** это функция, подлежащая безусловному исполнению для совокупности параметров проектного качества, характеризующая возможное множество различных свойств объектов в их распределении по различным элементам структуры объектов и связям между элементами структуры объектов.
- **Базовый объект знаний—** это материал, который определен на основе понятия «структура» в органическом единстве его информационных и логических связей с понятиями «содержание» и «форма», отрицающем их раздельное рассмотрение.
- **Информационный «ведомый» (основной) объект преобразования —** это первичный материал, информационное отображение знаний которого возможно только в единой среде одного уровня структуры технологической схемы на основе взаимодействия элементов структуры «ведомого» объекта в общем случае с группой элементов структуры «ведущего» объекта, а управляемое преобразование реализуется только в соответствующих технологических процессах.

2. Сопряжение «ведомого» и «ведущего» объектов взаимодействия наложением связей своего функционального назначения со стороны в общем случае группы элементов структуры «ведущего» объекта на функциональные элементы в структуре «ведомого» объекта позволяет определить метод преобразования «ведомого» объекта и свойства сопрягаемых объектов.

3. Технологические операции информационной технологии решения задач стадий КПП и ТПП распределяем на основные и вспомогательные операции. Основные операции распределяем в два направления — технологическое и конструкторское. В основных операциях рассматриваем виды обеспечения технологических систем организации рабочих машин и систем рабочих машин для обработки резанием. Во вспомогательных операциях рассматриваем виды обеспечения технологических систем управления рабочими машинами для обработки резанием. Вспомогательные операции конструкторского направления целесообразно закрепить за соответствующими отделами стадии КПП. Виды обеспечения технологических систем организации и управления определяем в информационной и логической связи в составе: организационное, методическое, логическое, нормативное, информационное, программное, техническое.

4. Объектами преобразования в технической подготовке механообрабатывающего производства являются материальные объекты {детали, сборочные узлы изделий} стадии КПП и {исходные заготовки, заготовки} стадии ТПП. Соответствующие материальным объектам стадий КПП и ТПП геометрические объекты являются идеальными.

Структура объектов стадии КПП рассматривается в соответствии с составом рабочих функций, исполняемых каждой из четырех групп элементов структуры [15]. Рабочие функции элементов структуры в этой работе определены объединением функций базирования с другими функциями в возможные их сочетания. Состав функций: базирование, направляющие, передача крутящего момента, деление и фиксация.

Структура объектов {исходные заготовки, заготовки} стадии ТПП рассматривается в соответствии с составом рабочих функций, исполняемых двумя «ведомыми» объектами взаимодействия в соответствующих технологических схемах. Состав функций: базирование, базирование и геометрическое формообразование элемента конструкции.

5. В основу познания геометрических объектов положено распределение основных элементов (интеграции, дезинтеграции) структуры объектов производства (исходных заготовок, заготовок) соответственно и параметров их проектного качества по маршруту преобразований резанием на группы:

- линейные и угловые размеры элементарных простых и налагаемых (простых, сложных) элементов формы;
- макро геометрическая форма элементов формы;
- микрогеометрическая форма (высота микронеровностей) элементов формы;
- позиционные связи для исполнения функций взаимного расположения между центрами систем координат функционально различных групп элементов формы в структуре одного объекта и различных объектов, а также между координатными «геометрическими» осями «основных» и «налагаемых» простых и сложных элементов формы.
- функционально различные отношения для исполнения функций взаимного расположения, например (совмещение, перпендикулярность, параллельность) между координатными «геометрическими» осями элементов формы в различных их группах структуры одного объекта и между координатными «направляющими» осями технологических схем взаимодействия различных объектов.

6. Информационные модели систем организации рассматриваем на основе следующих принципов:

- вне времени, в пространстве в общем случае совокупности информационно и логически связанных систем координат;
- идеально в условиях статической настройки технологических схем взаимодействия информационных объектов без применения каких-либо сил, но с учетом фактора времени в условиях динамической настройки процессов управления преобразованиями соответствующих реальных «ведомых» объектов;
- с учетом функционально различных погрешностей параметров проектного качества основных элементов интеграции, дезинтеграции структуры реальных «ведомых» объектов.

7. Технологию информационного логического моделирования решений задач практики методами и соответствующими средствами рассматриваем на основе следующих принципов.

7.1. Оперируем с функционально определенной системой понятий, каждое из которых имеет свое формализованное обозначение. Решение задач проводится на основе распределения структуры информационных моделей для основных базовых объектов знаний в две части информации: инвариантная, типовая объектно-ориентированная параметрическая. Информационные модели базовых объектов знаний более высокого уровня организованы на основе типовых объектно-ориентированных параметрических частей.

7.2. В типовых объектно-ориентированных параметрических частях информационных моделей базовых объектов знаний всех типов решаются задачи безусловного обеспечения проектного качества основным элементам (интеграции, дезинтеграции) структуры «ведомых» объектов преобразования. Решение задач всегда конкретно в пределах записи информации. Проводится в соответствии с интегральным алгоритмом в технологии отображения и преобразования базы знаний предметной области в иерархии структуры классификации ее базовых объектов знаний по семи уровням структуры; в соответствии с графом структуры базового объекта знаний какого-либо типа.

7.3. В базах данных решений определенных на основе инвариантных частей информационных моделей основных базовых объектов знаний в общем случае в пределах преобразований структуры, рабочих функций и параметров различных свойств решаются задачи оптимизации материальных и трудовых ресурсов.

7.4. Используем средства системного анализа знаний: концептуальные понятия, теорию множеств, теорию графов. Концептуальные понятия — это «отображение», «преобразование», «структура», «множество», др. Графические средства – формализованные обозначения понятий встраиваемых в структуру базовых объектов

знаний. Теория множеств — раздел математики, включающий понятие «логический оператор» для высказывания утверждений наложением связей между формализованными понятиями и т.д. Теория графов — раздел математики, изучающий, в частности, «графы структуры», используемый «диаграммы Венна» для наложения связей между функционально едиными объектами рассмотрения.

8. Информационное логическое моделирование базовых объектов знаний функционально различных типов какой-либо предметной области, в основу которого положены принципы системного анализа для налаживания непрерывного, гибкого интегрального алгоритма в технологии (методы, соответствующие средства, алгоритмы, операции) отображения и преобразования знаний, выявляет все «огрехи» аморфного (вне структуры) отображения и преобразования знаний. Здесь важны целевые свойства понятия «логическое моделирование» и функции знаний, следующие из его формулирования.

9. Математические модели процессов управления рассматриваем на основе следующих принципов:

- в соответствии с алгоритмом в технологии решения задач предметной области знаний;
- с учетом информационных и логических связей органического единства систем организации и процессов управления, параметров времени и пространства;
- не идеально в условиях динамической настройки технологических процессов взаимодействия реальных объектов технической, физической, химической, биологической природы с применением различных сил.

Определяемые экспериментальными измерениями различные погрешности параметров проектного качества основных элементов (интеграции, дезинтеграции) структуры реальных «ведомых» объектов в процессе их преобразования подлежат учету с последующим нормативным их упорядочиванием до расчетных предельных допускаемых отклонений точности для использования в справочной документации в виде рекомендуемых технических условий на проектирование.

10. Технологию математического моделирования решений задач практики рассматриваем на основе следующих принципов:

- оперируем с функционально определенной системой параметров, каждый из которых обозначен своим символом;
- с использованием различных методов и соответствующих средств математического аппарата;
- решение задач всегда конкретно в пределах записи информации, проходит как преобразование параметров (параметрические модели).

Результаты исследования. Под управлением функции целеполагания человека [16] понятия «пространство — время», «системы организации — процессы управления», «логическое моделирование — математическое моделирование» рассматриваем на инвариантной основе относительно каких-либо предметных областей знаний в их системной информационной и логической связке. Идентификатором их связи, обладающим свойством органического единства, отрицающим раздельное рассмотрение, является понятие «содержание преобразования «ведомых» объектов» в пределах определенных технологических элементов управления [17].

Технология системной инженерии, определенная автором для ТПП механообработки в практике договорных работ как информационная технология познания базы ее знаний, может быть распространена на давление, сварку, функционально различный менеджмент, компьютерную обработку информации.

Обсуждение и заключение. Стадия ТПП механообработки, безусловно, крупное сложное информационное изделие, включающее в себя как функционально различные системы организации составляющих ее информационных изделий, так и процессы управления в них. Множественные попытки решения задач автоматизации ТПП по всему циклу ее практики оказывались неудачными по причине логически неформализованного представления исходных данных и наличия существенных трудностей, характерных для крупных сложноорганизованных автоматизированных систем, при реализации проектных решений с использованием только математического аппарата. Исходя из логической незавершенности традиционных описательных знаний, переход к технологии их отображения и преобразования в знания информационной природы для достижения достаточного уровня автоматизации решения задач практики существенно затруднен или невозможен. Для налаживания непрерывного и гибкого интегрального алгоритма в детерминированной технологии решения задач высокого уровня автоматизации необходимы методы и инструментальные средства системной инженерии информационного логического моделирования.

Библиографический список

1. Гуд, Г. Х. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол [пер. с англ. К. Н. Трофимова, С. Е. Жорно, И. В. Соловьева; под ред. Г. И. Пивоварова]. — Москва : Советское радио. — 1962. — 383 с.

2. Колыбенко, Е. Н. Функционально различные аспекты технологии системной инженерии в познании базы знаний предметной области в примере технологической подготовки механообрабатывающего производства / Е. Н. Колыбенко, А. А. Мордовцев // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. трудов XXIII Междунар. науч.-практ. конф. — Санкт-Петербург : Изд-во СПб. гос. политехн. ун-та, 2019. — Т. 3. — С. 281–293.

3. Кондаков, А. И. Системное моделирование взаимодействий в технологических средах / А. И. Кондаков, А. С Васильев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 1998. — № 4. — С. 92.

4. Васильев, А. С. Совершенствование методологии технической подготовки производства деталей машин / А. С. Васильев // Справочник. Инженерный журнал с приложением. — 2013. — № 10(199). — С. 5–10.

5. Безъязычный, В. Ф. Основные понятия и положения в технологии машиностроения / В. Ф Безъязычный, А. Г Суслов // Наукоемкие технологии в машиностроении. —.2018. — № 2(80). — С. 3–9.

6. Митин, С. Г. Проектирование операций со сложной структурой в многономенклатурных механообрабатывающих системах / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев. — Саратов : Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2016. — 108 с.

7. Волкова, В. Н. Теория информационных систем : учеб. пособие / В. Н. Волкова. — Санкт-Петербург : Изд-во СПб. гос. политехн. ун-та, 2012. — 340 с.

8. Моделирование систем : учеб. пособие / под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — Санкт-Петербург : Изд-во СПб. гос. политехн. ун-та, 2012. — 440 с.

9. Маликов, Р. Ф. Основы разработки компьютерных моделей сложных систем : учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. — Уфа : Изд-во Башкирского гос. пед. ун-та, 2012. — 256 с.

10. Девятков, В. В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития : вузовский учебник / В. В. Девятков. — Москва : ИНФРА, 2013. — 448 с.

11. Чикуров, Н. Г. Моделирование систем : учеб. пособие / Н. Г. Чикуров. — Москва : ИНФРА, 2013. — 398 с.

12. Ghallab Malik, Nau Dana, Traverso Paolo. Automated Planning and Acting. DOI:10.1017/CBO9781139583923. (2016). Publisher: Cambridge UIniversity Press.

13. Emmanuel Caillaud, Bertrand Rose, Virginie Goepp. Research methodology for systems engineering: some recommendations. (2016) 1567–1572. IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd.

14. Устенко, А. С. Основы математического моделирования и алгоритмизации процессов функционирования сложных систем / А. С. Устенко. — Москва : БИНОМ, 2000. — 235 с.

15 Ракович, А. Г. Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений / А. Г. Ракович. — Минск : Наука и техника, 1985. — 285 с.

16. Смирнов, Э. М. Анализ системы «субъект — техническое средство — объект» / Э. М. Смирнов // Философские науки. — 1983. — № 1. — С. 24–30.

17. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий : ГОСТ 3.1109–82. — Москва : Стандартинформ, 2012. — 98 с.

Сдана в редакцию 22.01.2019
Принята к публикации 12.04.2019

Об авторе:

Колыбенко Евгений Николаевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Донского государственного технического университета (РФ, 344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1851-3885
e.n.kolybenko@mail.ru